



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

NÁVRH ROBOTICKÉHO RAMENE

ROBOTIC ARM DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michael Konečný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Michael Konečný**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Marada, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh robotického ramene

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je návrh robotického ramene vhodného do výuky robotiky. Návrh bude proveden v Autodesk Inventoru s ohledem na budoucí 3D tisk.

Cíle bakalářské práce:

1. Seznámení se s dostupnými open source robotickými rameny na internetu.
2. Provedte návrh a realizaci modelu robotického ramene v Autodesk Inventoru. Navržené rameno by mělo být svou stavbou vhodné pro vytištění na 3D tiskárně.
3. Provedte zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené literatury:

VODA, Zbyšek. Průvodce světem Arduina. Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7.

Home – Zortrax Library [online]. Dostupné z: <http://library.zortrax.com/project/zortrax-robotic-arm>

Thor • Hackaday.io. Hackaday.io • The world's largest collaborative hardware development community. [online]. Copyright © 2016 Hackaday [cit. 01.12.2016]. Dostupné z: <https://hackaday.io/project/12989-thor>

3D Printable Robot Arm • Hackaday.io. Hackaday.io • The world's largest collaborative hardware development community. [online]. Copyright © 2016 Hackaday [cit. 01.12.2016]. Dostupné z: <https://hackaday.io/project/3800-3d-printable-robot-arm>

GitHub - BCN3D/BCN3D-Moveo: Open Source 3D Printed Robotic Arm for educational purposes. How people build software · GitHub [online]. Copyright © 2016 [cit. 01.12.2016]. Dostupné z: <https://github.com/BCN3D/BCN3D-Moveo>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o modelu robotického ramene se šesti stupni volnosti, které je možné vytisknout na 3D tiskárně. První část práce se zabývá teoretickým základem. Druhá část práce popisuje dostupná řešení z internetu. Třetí část práce se týká sestavení celého robotického ramene. Poslední část práce je tvořena zhodnocením vytvořeného modelu a cenový rozbor.

ABSTRACT

This thesis deals with a model of robotic arm with six degree of freedom that can be printed on a 3D printer. The first part deals with the theoretical basis. The second part describes the available solutions from the internet. The third part is about the assembly of the entire robotic arm. The last part consists of appraisal of the created model and price analysis.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robot, manipulátor, open source robotické rameno

KEYWORDS

Robot, manipulator, open source robotic arm

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KONEČNÝ, M. *Návrh robotického ramene*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Ing. Tomáši Maradovi, Ph.D. za odborné vedení při tvorbě této práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Tomáše Marady, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 25.5.2017

.....
Michael Konečný

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	PRŮMYSLOVÉ ROBOTY.....	17
2.1	Definice	17
2.2	Konstrukce.....	18
2.2.1	Kinematika.....	18
2.2.2	Programování.....	20
2.2.3	Pohony	23
3	OPEN SOURCE RAMENA NA INTERNETU	27
3.1	Thor	27
3.2	BCN3D Moveo.....	28
3.3	Zortrax	29
4	VLASTNÍ ŘEŠENÍ.....	31
4.1	Seznam dílů	31
4.1.1	Tištěné díly	31
4.1.2	Kupované díly.....	31
4.2	Montážní postup	32
5	ZHODNOCENÍ A CENOVÁ ÚVAHA.....	46
5.1	Cenová úvaha	46
6	ZÁVĚR	49
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	51
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	53
9	SEZNAM PŘÍLOH.....	55
10	A OBSAH CD.....	57

1 ÚVOD

Lidstvo se od nepaměti snaží zapojit různé stroje a mechanismy do své činnosti, aby si ulehčilo práci. Tato snaha vyústila na přelomu 18. a 19. století, kdy proběhla průmyslová revoluce a započalo se s velkou strojní výrobou. S rozmachem mechanizace se také objevila myšlenka, že by stroje mohly pracovat bez přítomnosti člověka. A takto vznikla snaha o automatizaci pracovního procesu.

Za automatizaci se považuje využití samočinných řídicích systémů k řízení výrobních či technologických procesů a zařízení. S rozvojem elektroniky a počítačů automatizace rychle pronikla do všech průmyslových odvětví. V dnešní době jsou průmyslové roboty a manipulátory jedny z nejoblíbenějších způsobů automatizace výroby. Jejich hlavní výhoda spočívá v nepřeberném množství použitelných aplikací. Při jejich použití dochází ke zrychlení výrobního procesu, snížení finančních nákladů, zvýšení kvality a přesnosti provedení dané činnosti a celkovému zefektivnění výroby. Na rozdíl od lidského pracovníka dokáže robot opakovaně provádět tentýž úkon se zanedbatelnou odchylkou.

Z tohoto důvodu jsem se rozhodl pro vytvoření vlastního návrhu robotického ramene. Jeden z mých hlavních cílů byl, aby všechny díly daného ramene mohly být vytištěny na nejrozšířenější velikosti 3D tiskáren, tj. aby každý díl měl rozměry menší než 20x20 cm. Dalším mým cílem bylo vytvoření dílů, které by měly minimální nároky na stavbu podpor a zároveň u nich zamezit vzniku chyb, které se často vyskytují během tisku.

Tato práce se skládá ze dvou částí. První je část rešeršní, ve které jsou popsány základy průmyslových robotů. Druhá část je část praktická, ve které jsem zhodnotil open source ramena dostupná na internetu a vytvořil návrh vlastního robotického ramene s možným rozpočtem.

2 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY

V této kapitole je pojednáno o definici pojmů souvisejících s průmyslovými roboty. V první části bude popsána kinematika průmyslového robotu a základní typy kinematických struktur. Dále probereme možnosti programování a pohyby jimiž lze robot řídit. Na konec si řekneme něco o motorech, které je možné při stavbě robotu využít.

Čerpáno bylo ze zdrojů [1], [2], [3].

2.1 Definice

Slovo „robot“ vzniklo v Československé republice v roce 1920. Poprvé jej publikoval známý český spisovatel Karel Čapek, který jej použil ve své divadelní hře R.U.R. Ve skutečnosti vynálezcem slova je jeho bratr malíř Josef Čapek, který mu ono slovo poradil. Původně chtěl Čapek využít slova „laboři“ odvozeného buď z latinského slova „labore“ nebo anglického slova „labour“, což znamená těžká nebo plně zaměstnávající práce. Nakonec využil pojmu „robota“, odvozeného ze staroslovanského jazyka. V Čapkově pojetí je robot bytost, která zastává práci lidí. Na rozdíl od současnosti, kdy robot je technická záležitost, Čapkův výtvar byl stvořen pomocí přírodních věd, a to zejména pomocí biologie a chemie.

Od doby vzniku je jako robot označováno jakékoliv automatické či mechanizační zařízení. Přesnější definice, kterou původně vyslovil Ing. Ivan M. Havel, CSc. [1] je: „Robot je automatický nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní, cílově orientované interakce s přirozeným prostředím, podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí a v manipulování s předměty, popř. v pohybování se v tomto prostředí.“

U slova „robot“ je možné skloňování dle dvou různých vzorů. Prvním z nich je životný vzor „pán“. Toto skloňování se využívá u strojů, které napodobují živé tvory, tj. humanoidní a biomimetické roboty. Druhým vzorem je neživotný vzor „hrad“. V tomto případě se skloňování využívá převážně u automatů a jakýchkoliv jiných strojů živým tvorům nepodobným.

Stroje, které se využívají v průmyslové výrobě a zastávají funkce člověka se nazývají automaty. Toto označení je z velké části dané tím, že se automaty velmi málo podobají člověku a jejich činnost je většinou vysoce specializovaná. Nejpoužívanější automaty současnosti jsou průmyslové roboty a manipulátory.

Definice „průmyslového robotu“ dle prof. P. N. Beljanina [1]: „Průmyslový robot je autonomně fungující stroj-automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka, a který je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí a podobně), schopností samovýuky, samoorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.“

Dříve byl rozdíl mezi průmyslovým robotem a manipulátorem definován počtem stupňů volnosti, což není vhodná definice. Chceme-li rozhodnout, zda se jedná o průmyslový robot a nebo manipulátor, pak je nutné rozhodovat na základě analýzy jeho řídicího systému. Jednoznačné měřítko na přesnou klasifikaci neexistuje.

2.2 Konstrukce

Průmyslový robot je většinou složen z několika ramen, kloubů, senzorů, báze, řídicího systému a koncového efektoru. Přesná konstrukce vyplývá z použité kinematické struktury a použitých materiálů. Koncový efektor je v mnoha případech vyměnitelný, a tudíž u koncového efektoru záleží na dané operaci. Nejběžnější komerční průmyslové roboty mají pět až šest stupňů volnosti.

Vzhledem ke konstrukci můžeme rozdělit průmyslové roboty do dvou kategorií:

a) Stacionární roboty

Jedná se o robot, který je samostatným akčním systémem. Tyto roboty mohou být dále děleny na:

- roboty se sériovou kinematikou
- roboty s paralelní kinematikou

Z názvu vyplývá, že báze robotu je nepohyblivá, ale nemusí to vždy platit. Roboty je možné vybavit jednoduchým či složitějším lokomočním ústrojím.

b) Mobilní roboty

Jedná se o autonomní nebo dálkově řízené roboty, které mají hlavní využití v neprůmyslové, nestrojírenské, nevýrobní oblasti. V podstatě lze říct, že každý z těchto robotů je unikátní. Jejich hlavní využití se nachází v nebezpečných, těžko dostupných či nedostupných oblastech. Většinou se nevyrábí sériově, ale existují výjimky jako např. robotické hračky nebo robotické vysavače.

2.2.1 Kinematika

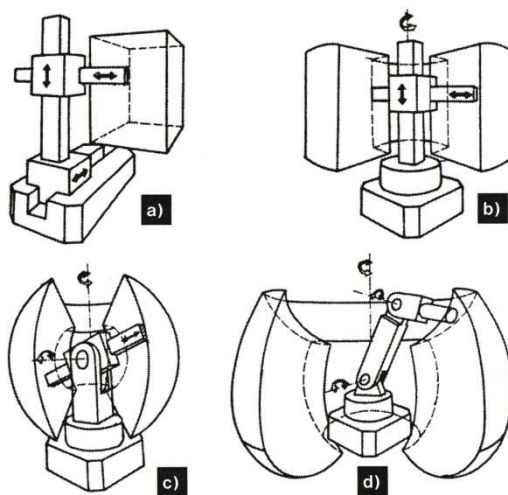
Akční, neboli pohybový systém průmyslových robotů je rozdělen do dvou oddělených částí. První část tvoří hlavní pohybový systém, který zajišťuje nastavení polohy těžiště objektu v prostoru. Tento systém je také označen jako polohovací systém. Druhá část obsahuje vedlejší pohybový systém, který je znám jako orientační systém. Díky tohoto systému jsme schopni určit natočení objektu v prostoru.

U průmyslových robotů nás nejvíce zajímají jejich manipulační a pohybové schopnosti. Obě tyto schopnosti jsou dány počtem kinematických dvojic. U robotu se sériovou kinematikou se jedná o pohybový mechanismus, který se skládá ze za sebou sestavených a vázaných kinematických dvojic. Každá kinematická dvojice vyskytující se v tomto řetězci, obsahuje jeden stupeň volnosti. Je výjimečné, aby v případě stavby

průmyslového robotu obsahovala kinematická dvojice více stupňů volnosti. Důvodem k této skutečnosti je fakt, že by se daná soustava velice těžko osazovala pohony a senzory. Tento problém je řešen vzájemným pootočením sériově napojených rotačních kinematických dvojic.

Nejčastěji používané kinematické dvojice při stavbě průmyslového robotu jsou translační a rotační. Abychom mohli pohybovat koncovým bodem kinematického řetězce v prostoru, je zapotřebí spojit alespoň tři kinematické dvojice. Na počátku rozvoje robotiky se nejvíce rozšířily čtyři typy spojení kinematických dvojic. Jedná se o tato základní spojení:

1. typ TTT - spojení tří translačních kinematických dvojic
Při tomto spojení je obsažen kartézský pracovní prostor, viz Obr. 1a.
2. typ RTT - spojení jedné rotační a dvou translačních kinematických dvojic
Při tomto spojení je obsažen cylindrický pracovní prostor, viz Obr. 1b.
3. typ RRT - spojení dvou rotačních a jedné translační kinematické dvojice
Při tomto spojení je obsažen sférický pracovní prostor, viz Obr. 1c.
4. typ RRR - spojení tří rotačních kinematických dvojic
Při tomto spojení je obsažen antropomorfní pracovní prostor, viz Obr. 1d.



Obr. 1: Pracovní prostory: a) typ TTT b) typ RTT c) typ RRT d) typ RRR (převzato z [1])

Při pohybu robotu je potřeba mít správně zadefinovaný koncový bod efektoru, jehož poloha nás nejvíce zajímá. Tento bod je definován vzhledem k bázi, na které je robot umístěn. Vztah mezi těmito body lze v kartézském souřadnicovém systému popsat pomocí jejich vzájemné polohy a natočení. Poloha a orientace je popsána těmito šesti parametry - X, Y, Z, A, B, C. Parametry X, Y, Z nám udávají hodnotu posunutí v osách souřadnicového systému, zatímco parametry A, B, C nám udávají hodnotu

rotace kolem těchto os. Tyto parametry budou ovlivňovány vzájemnou polohou robotických ramen a koncového bodu efektoru. Z toho vyplývá, že mezi polohou ramen a polohou souřadnicového systému koncového bodu efektoru vůči bázi existuje závislost. Tato závislost je vyjádřena buď jako funkce všech natočení v kloubech robotu a nebo jako funkce polohy a orientace v prostoru.

Aktuální poloha robotu může být popsána hodnotami natočení kloubů v daném okamžiku. Pro tyto dané hodnoty natočení, dostaneme jedno konkrétní místo v prostoru (neplatí pro všechny body, některé mohou mít více možných hodnot natočení). Při řízení pohybu robotu je třeba zahrnout i bázi robotu. Je potřeba zvolit jednu z výše uvedených závislostí. Při řízení pohybu robotu je klíčový převod mezi souřadnými systémy a to hlavně osovým a kartézským. V případě, že převod probíhá z osového souřadnicového systému do kartézského, tak vždy existuje pouze jedno možné řešení, tj. pro jedny konkrétní hodnoty natočení, existuje pouze jediné místo v prostoru. Tento převod se nazývá přímá transformace nebo také přímá kinematika. Jedná-li se o případ opačný, tudíž převod probíhá z kartézského souřadnicového systému do systému osového, pak se tento převod nazývá inverzní transformace nebo také inverzní kinematika. V tomto případě už neexistuje jednoznačné řešení, což znamená, že pro jeden bod v prostoru existuje několik možných hodnot natočení.

2.2.2 Programování

Průmyslové roboty je možné programovat několika způsoby. Jedná se o tyto metody:

1. Online

Tato metoda je v současné době nejpoužívanější. Při této metodě je zapotřebí obsluha robotu, která robot programuje přímo na daném pracovišti pomocí ručního ovládacího panelu.

2. Off-line

Při této metodě je využito softwarového systému, který umožňuje 3D virtuální simulaci robotizovaného pracoviště. V tomto softwaru je možné definovat pohyby a dráhy robotu a následně je exportovat do příslušného formátu programovacího jazyka daného robotu. Díky tomu vznikne program, který lze následně nahrát do řídicího systému robotu. Nesporná výhoda této metody spočívá v tom, že není potřeba mít daný robot fyzicky k dispozici.

Při ručním ovládání robotu pomocí ručního ovládacího panelu, je možné pohybovat robotem dvěma způsoby:

1. Osově specifický způsob

Při tomto režimu může obsluha ovládat individuálně každou osu robotu v kladném či záporném směru.

2. Pohyb v kartézských souřadnicích

Při této možnosti je možné pohybovat koncovým bodem efektoru v rámci os a rotovat kolem nich (v kladném i záporném směru) ve zvoleném kartézském souřadnicovém systému (světový souřadnicový systém nebo souřadnicové systémy báze a nástroje).

Při programování se kvůli usnadnění používají kartézské souřadnicové systémy, z toho důvodu musí řídicí systém provádět transformaci souřadnic. Princip transformace již byl popsán výše. Během programování trajektorie pohybu, lze vybírat z několika typů hlavních pohybů. Mezi hlavní pohyby patří:

1. Obecný pohyb

Při použití tohoto pohybu, se robot přesune z bodu P1 do bodu P2 nejrychlejším možným způsobem. Neplatí zde, že nejkratší dráha musí být i nejrychlejší, tudíž se tedy obecně nejedná o přímku. Jelikož jsou pohyby jednotlivých os robotu rotační, tak se může v prostoru pohybovat po různě zakřivených drahách, kde čas potřebný k uražení této dráhy je menší než čas potřebný k uražení dráhy pro přímočarý pohyb. Při použití obecného pohybu mezi dvěma danými body, výsledná dráha není předem známá. Tento pohyb se používá hlavně při polohování v prostoru a nebo v místech, kde nehrozí žádná kolize.

2. Lineární pohyb

Během tohoto typu pohybu se robot pohybuje přímočaře mezi zadanými body P1 a P2 a to konstantní zadanou rychlostí.

3. Kruhový pohyb

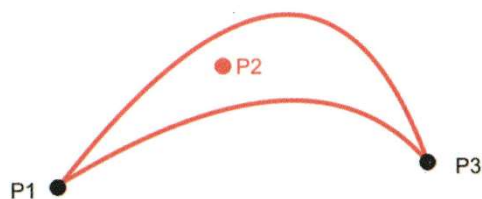
Při tomto pohybu se robot pohybuje po kruhové dráze. Tato dráha je definovaná počátečním, koncovým a tzv. pomocným bodem, který danou dráhu vymezuje. Robot se po ní následně hýbe zadanou konstantní rychlostí.

Používání pouze základních typů pohybů je v praxi nedostatečné a proto se využívá aproximace pohybů. U všech pohybů platí, že blíží-li se koncový efektor robotu koncovému bodu dráhy, tak se rychlost i zrychlení robotu blíží nule. Když je dráha poskládaná z více bodů, tak robot vždy v každém následujícím bodu zastaví, než pokračuje dál do dalšího bodu. V případě aproximace pohybu, koncový bod efektoru nenajede na přesnou polohu dílčího bodu a tudíž je dráha do koncového bodu plynulejší a rychlejší. Díky aproximaci pohybu je snížen celkový čas pracovního cyklu, což je důležitý parametr při návrhu robotického pracoviště.

- Aproximace obecného pohybu

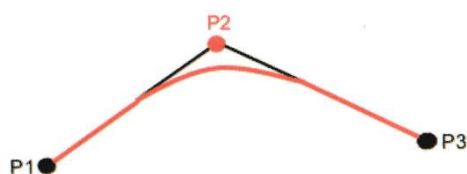
Koncový bod efektoru opustí dráhu, která by vedla do dílčího bodu. Díky tomu se pohybuje po rychlejší dráze do koncového bodu. Stejně jako

v případě základního obecného pohybu, ani zde nelze výslednou dráhu předpokládat, viz Obr. 2.



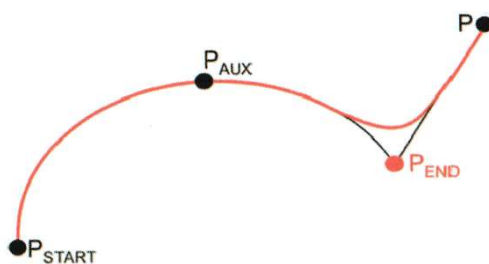
Obr. 2: Aproximace obecného pohybu (převzato z [1])

- Aproximace lineárního pohybu
Koncový bod efektoru opustí dráhu, která by vedla do dílčího bodu. Zde je možné definovat vzdálenost (poloměr), viz Obr. 3.



Obr. 3: Aproximace lineárního pohybu (převzato z [1])

- Aproximace kruhového pohybu
Koncový bod efektoru opustí dráhu, která by vedla do dílčího bodu. Zde je možné definovat vzdálenost (poloměr), viz Obr. 4.



Obr. 4: Aproximace kruhového pohybu (převzato z [1])

Software pro off-line programování je založen na kinematickém, případně dynamickém simulačním modelu daného robotu. Lze v něm zapisovat body, vytvářet dráhy a celkově definovat konkrétní aplikaci robotu. Také je zde možnost sledovat celý pracovní proces, testovat dosah robotu či si nechat vykreslit pracovní prostory. U některých softwarů existuje i možnost generování dráhy pro tvarově složité součásti. Z hlediska bezpečnosti tyto softwary většinou obsahují automatickou detekci kolizí. Jejich nejvýhodnější vlastnost, ale spočívá v možnosti generování řídicího programu pro daný robot, přičemž tento program plně respektuje syntaxi programovacího jazyka daného robotu. V podstatě pomocí off-line programování lze dosáhnout zvýšení kvality,

produktivity, snížení nákladů, času pracovního cyklu nebo sestavení robotické buňky. Většinou je ovšem potřeba vygenerovaný program alespoň částečně upravit na konkrétním pracovišti. Tato situace je způsobena tím, že vytvořený simulační model robotické buňky neodpovídá přesně jeho fyzickému ekvivalentu.

2.2.3 Pohony

„Pohon“ je zařízení pro přeměnu energie, včetně řízení této přeměny určené k uvedení poháněného stroje do požadovaného stavu. Skládá se z motoru, který zprostředkovává přeměnu energie, bloku pro ovládání energie do motoru a spojovacího bloku, který obstarává vazbu mezi výstupem motoru a pohyblivou částí pohybové jednotky. Pohyb z výstupu motoru se na výstup pohybové jednotky přenáší buď přímo nebo přes transformační blok.

Pohony je možné rozdělit podle druhu energie, která je využita k přeměně energie na energii mechanickou a to následovně:

1. Mechanické pohony

U těchto pohonů dochází k transformaci mechanické práce na požadovaný pohyb zařízení. Při této transformaci se využívají různé technické prostředky, jako vačky, pákové mechanismy, krokovací mechanismy a další. Tento pohon se používá u jednoduchých nebo jednoúčelových manipulátorů, protože u nich není potřeba, aby pohyb byl univerzální nebo programovatelný.

Výhodou těchto pohonů je vysoká přesnost, rychlost, spolehlivost a dlouhá životnost. Cena se u nich odvíjí podle velikosti vyráběné série.

2. Hydraulické pohony

Jedná se o jeden z nejdůležitějších pohonů pro průmyslové roboty a manipulátory, ale v dnešní době jsou již většinou nahrazovány pohony elektrickými. Tyto pohony obsahují pracovní kapalinu, převážně se jedná o minerální olej, a využívají její fyzikální vlastnosti. Otáčením hydraulického axiálního pístového motoru se pod tlakem přiváděná kapalina postupně rozvádí k jednotlivým pístkům, které následně tlačí na šikmý, valivě uložený kotouč, jenž je spojený s rotačním unašečem.

Mezi výhody těchto pohonů je možné zařadit velkou účinnost, spolehlivost, nízkou hodnotu poměru hmotnosti k výkonu, vysokou tuhost, možnost plynulého řízení rychlosti a dosažení požadované polohy, malou hmotnost pohyblivých částí a z toho plynoucí výhodné dynamické vlastnosti. K nevýhodám je třeba zařadit potřebu samostatného a odděleného energetického bloku, možnou změnu viskozity pracovní kapaliny v závislosti na teplotě, hořlavost pracovní kapaliny a nebo obtížné dosažení vyšších pohybových rychlostí.

3. Pneumatické pohony

Tento typ pohonu je nejvíce využitelný u průmyslových robotů a manipulátorů s menšími výkony (do 1 kW) a jednoduchými pracovními cykly. Nižší výkon je dán provozním tlakem. V případě centrálních rozvaděčů se jedná o tlak do 0,6 MPa, při použití samostatného kompresoru se pracuje s tlakem do 1 MPa. Vysokotlaké pneumatické mechanismy se prozatím nepoužívají. Nejvíce se využívají motory s přímočarým pohybem - pneumatické válce. Tyto motory jsou schopny dosáhnout rychlosti až 3 ms^{-1} . Tak vysoké rychlosti nejsou použitelné, kvůli problémům s brzděním a s velkými setrvačnými silami působícími na držený předmět.

Mezi výhody tohoto pohonu patří konstrukční jednoduchost, spolehlivost a snadná údržba, dále pak činnost ve velkém teplotním rozsahu nebo možnost přetížení motoru bez nebezpečí poškození. Na druhou stranu, největší nevýhodou je obtížnost při nastavování zdvihu. Mezi další nevýhody můžeme zařadit komplikované mazání mechanismu, obtížné řízení rychlosti pohybu, poddajnost díky stlačitelnosti vzduchu a drahý provoz, který je způsoben hlavně netěsnostmi v dlouhých rozvodech.

4. Elektrické pohony

Rotační elektrické pohony mají prioritní postavení při stavbě průmyslových robotů a manipulátorů. Pohony hydraulické a pneumatické se spíše využívají k dosažení přímočarého pohybu. Elektrický pohon je možné chápat jako subsystém, který zajišťuje řízení pohybu při současné přeměně elektrické energie na mechanickou práci. V současnosti se využívají k řízení pohybu robotů a manipulátorů servopohony, tj. elektrické pohony s uzavřenou regulační smyčkou, které obsahují polohovou, rychlostní a proudovou zpětnou vazbu. Prioritou při pohybu průmyslového robotu je řízení polohy. Chceme znát přesný úhel natočení, který získáváme pomocí polohového servomechanismu. Ten je tvořen elektromotorem se snímači otáček nebo polohy, výkonovým měničem pro napájení a řízení motoru a regulátorem polohy s podřízeným regulátorem rychlosti, který obvykle obsahuje podřízený proudový regulátor.

K výhodám těchto pohonů můžeme přiřadit jednoduchost vedení zdroje k motoru, jednoduchost spojení s řídicími prvky, jednoduchou údržbu, čistotu provozu a nižší pořizovací, provozní i udržovací náklady. Mezi nevýhodami je závislost na dodávce elektrické energie, nebezpečí úrazu elektrickým proudem a jsou zde značné požadavky na kvalitu provedení všech částí.

5. Kombinované pohony

Smysl těchto pohonů spočívá ve snaze o spojení výhodných vlastností různých pohonů do pohonu jednoho. Kombinují se pohony elektrické, hydraulické a pneumatické. Teoreticky je možné vytvořit šest různých kombinací, ale prozatím mají praktický význam pouze pohony elektrohydraulické a pneumohydraulické.

U elektrohydraulického pohonu je na vstupu elektromotor (většinou buď stejnosměrný a nebo krokový) a na výstupu hydromotor. Spojení mezi oběma motory je uděláno tak, že pohyb od elektromotoru je přenesen na hydromotor v přesně definovaném poměru natočení, případně natočení-posunutí a s výkonovým zesílením. Podstatná vlastnost spojení je tedy polohová zpětná vazba. Řídící funkci zde plní elektromotor, přičemž hydromotor sleduje jeho pohyb se zesíleným výkonem.

U pneumohydraulického pohonu jde nejčastěji o doplnění pneumatického motoru hydraulickým obvodem, ve kterém bylo použito řízení rychlosti, případně i polohy zastavení. Propojení je zde například řešeno spojením pohybu pístu pneumatického motoru s pístem hydraulického motoru, který je součástí uzavřeného hydraulického obvodu. Oba poloprostory jsou spojené pomocí škrticích nebo blokovacích ventilů, kterými se řídí přepouštění kapaliny. Mohou zde vznikat ztráty kapaliny kvůli netěsnostem, a proto v obvodu často bývá vyrovnávací nádrž.

6. SMA pohony (Shape Memory Alloy)

Slitiny s tvarovou pamětí představují skupinu tzv. inteligentních materiálů, jejichž společná vlastnost je využití „vnitřních molekulárních sil“ materiálu. Příkladem takové slitiny je Nitinol, který obsahuje 55% niklu a 45% titanu. Tyto slitiny mají zajímavou schopnost. Dokážou si „zakódovat“ i velmi komplikované tvary a střídavě je zaujímat při ohřevu nebo při ochlazení.

Z hlediska konstrukce pohonu nás nejvíce zajímá velikost a opakovatelnost vratné deformace, teplotní rozsah jevu SM, velikost síly a dovolené zatížení. Účinnost přeměny tepla na mechanickou práci je méně než 10%, toto ale není rozhodující vlastnost. SMA pohony dokáží na poměrně krátké vzdálenosti působit velkou silou. Díky tvarové přizpůsobivosti je možné vytvářet pohony šité na míru, které bez mechanických převodů mají výborný poměr výkonu k hmotnosti a mohou se miniaturizovat. Díky titanu a niklu zvládnou také spolehlivě pracovat v náročných prostředích a dosahují většího prodloužení v malém teplotním rozsahu než bimetaly, či pohony na bázi tepelné roztažnosti.

Také je možné dělit pohony podle řízení přeměny energie a to na:

- Řízené
Obsluha sledující řízenou veličinu je schopna přes řídicí mechanismus přímo zasáhnout do parametrů motoru či převodu ke změně této energie.
- Neřízené
Mají konstantní parametry.

3 OPEN SOURCE RAMENA NA INTERNETU

3.1 Thor



Obr. 5: Robotické rameno Thor (převzato z [4])

Tento model byl původně vytvořen jako diplomová práce. Autor model následně rozvíjel a vytvořil open source projekt. Za svůj hlavní cíl si zvolil vytvoření robotického ramene, které by se využívalo k výuce na středních a vysokých školách namísto simulačních softwarů a nebo málo přesných modelů. Snažil se vytvořit cenově dostupný robot se šesti stupni volnosti. Ve vertikální poloze je velikost robotu 625mm a je schopen uzvednout objekt do hmotnosti 750g.

K dosažení přesného pohybu využívá krokové motorky Nema 17 a pro poslední dva stupně volnosti využívá krokové motorky Nema 14, kvůli snížení hmotnosti. Jako základní deska je zde využita Arduino Mega 2560 a vlastnoručně vytvořená základní deska s vlastnoručně vytvořenými deskami plošných spojů. Toto bylo zapotřebí, aby mohl ovládat všech sedm krokových motorků. Následně použil Pololu A4988 jako krokový ovladač. K přenosu momentu používá kombinaci řemenných a ozubených převodů. Také využil optočleny a mikropřepínače, aby mohl nastavit výchozí pozici prvních pěti kloubů. Všechny využitý hardware je běžně dostupný, většina součástek se využívá u vlastnoručně vytvořených 3D tiskáren.

Při vývoji dílů byl využit software FreeCAD. Je zde třicet sedm dílů k vtištění, kdy největší součásti mají délku 290mm, proto musela být využita větší tiskárna než je běžné. Vzhled je inspirovaný komerčními roboty se snahou o kompaktnost a bezpečnost. Kvůli možnému využití v hodinách, bylo potřeba schovat vedení i motorky a zamezit tak riziku zachycení během manipulace. Jako většina robotů se šesti stupni volnosti má vyměnitelný koncový efektor. Namísto integrovaného úchopu zvolil adaptivní vzhled na rozhraní koncového efektoru a robotického ramene. Zajímavě je řešení přenos momentu v koncovém kloubu robotu. Jsou zde použity dvě

malá ozubená kola, která se chovají jako jedno velké ozubené kolo. Pokud malá kola rotují ve stejném směru, velké ozubené kolo se zablokuje a rotuje kolem osy malých kol. Když malá kola rotují v protisměru, potom velké kolo rotuje kolem osy vlastní. Díky této konstrukci je možné posunout motorek blíže k bázi, moment přenášet pomocí řemenů a také výsledný moment vytvářený vahou motorku zmenšit.

Ve čtvrtém spojení využil 6 mm ocelových kuliček k vytvoření vlastního ložiska. Toto řešení je velmi levné, ale velice funkční. V tomto projektu byl využit při tvorbě desky plošných spojů software KiCAD. Byla vytvořena deska plošných spojů zvlášť pro krokové motorky a zvlášť pro senzory. Tyto desky byly vytvořeny pomocí vlastnoručně vytvořeného CNC (na internetu pod názvem Cyclone CNC mill [5]) a z tohoto důvodu jsou cesty pouze v jedné vrstvě mědi.

K ovládání nejprve využíval Marlin firmware s Arduino Mega 2560 a RAMPS, poté co si vytvořil vlastní základní desku pro Arduino, modifikoval GRBL firmware, aby zvládl ovládat sedm motorků a šest senzorů.

Čerpáno bylo ze zdroje [4].

3.2 BCN3D Moveo



Obr. 6: Robotické rameno BCN3D Moveo (převzato z [6])

Toto rameno bylo vytvořeno inženýry ze společnosti BCN3D Technologies ve spolupráci se vzdělávacím institutem katalánské vlády. Tato společnost sídlí v Barceloně a je podporována nadací CIM, společnost je zaměřena na zpřístupnění digitálních výrobních technologií veřejnosti. Z iniciativy institutu vzdělání, který měl obavy o vysokou cenu materiálů, vznikl návrh na robotické rameno přizpůsobitelné studentům, které by sloužilo k výuce robotiky, mechanického designu, automatizace a průmyslového programování a které by zároveň mělo nízké náklady na výrobu. Bylo vytvořeno ve snaze pomoci pokroku komunity a mělo by umožnit vzdělávacím

střediskům možnost levného, modifikovatelného a snadno dostupného robotického ramene s dostatkem výstupů pro tréninkové účely. Po dokončení vývoje bylo rameno umístěno na internet pomocí platformy Github s veškerou dokumentací. Do dokumentace spadá kusovník, CAD a STL modely, firmware a návod na sestavení v angličtině a španělštině. Hotová ramena byla také umístěna v patnácti vzdělávacích střediscích v okolí Katalánska, kde jsou dostupná ve třídách a dílnách.

Celé rameno bylo vytvořeno v softwaru SolidWorks a vzniklo na open source projektu robotického ramene Andrease Hölldorfera. Jedná se o rameno s pěti stupni volnosti, kde všechny potřebné díly byly vytištěny na 3D tiskárně. Přenos momentu je zde řešen pomocí řemenného převodu s využitím krokových motorků Nema 17 a Nema 23 a řízení pomocí platformy Arduino Mega 2560. Od společnosti Zortrax si vypůjčili firmware na bázi Marlin, který byl vyvíjen pro jejich robotické rameno s krokovými motorky.

Čerpáno bylo ze zdrojů [7], [8], [9].

3.3 Zortrax



Obr. 7: Robotické rameno Zortrax (převzato z [10])

Toto rameno bylo vytvořeno společností Zortrax, která sídlí v Polsku a je jedním z největších výrobců 3D tiskáren v Evropě. Bylo vytvořeno za účelem představení, jak vysoce funkční dokáže být prototyp, který je možné získat levně a bezpracně a zároveň, který může sloužit stejně dobře jako koncový produkt. Původně bylo zamýšleno jako manipulační zařízení, které by mohlo být využito ke zvýšení efektivity pracovního procesu.

Díky pěti stupňům volnosti je jeho pohyb možný v pěti různých směrech, což garantuje dosažení vzdálenosti k předmětu, který má být zvednut. Maximální nosná hmotnost objektu je 100g. Pohyb ramene zajišťují tři krokové motorky Nema 17. Zde představené rameno má jako koncový efektor namontovaný úchop, který neobsahuje

motorek a tudíž rameno nesplňuje účel vytvoření. Rameno má svůj konec uzpůsobený k možné výměně koncového efektoru, lze tedy využít jakýkoliv nástroj dle potřebné aplikace, např. sání, elektromagnet nebo vrták.

Mezi podstavou a bází robotu se nachází ložisko vytvořené pomocí 8 mm ocelových kuliček. Celé rameno je ovládáno pomocí platformy Arduino Mega 2560 a firmwaru Marlin. Přenos momentu je řešen pomocí ozubených kol. Rameno bylo vytvořeno v softwaru SolidWorks.

Čerpáno bylo ze zdrojů [10], [11], [12].

4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

4.1 Seznam dílů

4.1.1 Tištěné díly

Položka	Počet kusů	Hmotnost
Podstava	1	1,381 kg
Báze robotu	1	1,747 kg
První rameno - první část	1	1,025 kg
První rameno - druhá část	1	1,003 kg
První rameno - třetí část	1	0,532 kg
První rameno - čtvrtá část	1	0,565 kg
Druhé rameno - první část	1	0,402 kg
Druhé rameno - druhá část	1	0,407 kg
Třetí rameno - první část	1	0,108 kg
Třetí rameno - druhá část	1	0,110 kg
Třetí rameno - třetí část	1	0,055 kg
Třetí rameno - čtvrtá část	1	0,055 kg
Vrchní díl úchopu	1	0,033 kg
Spodní díl úchopu	1	0,043 kg
Klika	2	0,002 kg
Klika s ozubením	2	0,006 kg
Čelist	2	0,015 kg
Distanční kroužek K1	1	0,001 kg
Distanční kroužek K2	1	0,002 kg
Distanční kroužek K3	1	0,004 kg
Distanční kroužek K4	1	0,001 kg
Distanční kroužek K5	1	0,001 kg

4.1.2 Kupované díly

Položka	Počet kusů
Podložka	1
Noha podložky	4
Krokový motorek SX17-0808	1
Krokový motorek SX17-1005VLQCEF	4
Krokový motorek SX17-1003LQEF	1
Krokový motorek SX16-0402N	1
Kuličkové ložisko 6000-2RSH	4
Kuličkové ložisko 608-2RSH	6

Ocelová kulička 6 mm	64
Hřídelová spojka LK20-C5-5/10	1
Hřídelová spojka LK20-C5-5/8	1
Ozubené kolo s přímými zuby - pastorek P1023	3
Ozubené kolo s přímými zuby - hnané kolo P1064	1
Ozubená kola kuželová - pastorek, hnané kolo P151040-10	1
Bezešvá ocelová tyč o průměru 10 mm	1
Bezešvá ocelová tyč o průměru 8 mm	1
Čep 10x190x4	1
Čep 8x110x3	2
Vrut se zápustnou hlavou 6x60	4
Křížový šroub s plochou zápustnou hlavou M3x25	4
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M8x80	6
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M6x50	8
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M5x40	8
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M4x35	2
Šroub se zápustnou hlavou M4x25	12
Šroub se zápustnou hlavou M3x20	3
Šroub se zápustnou hlavou M3x12	6
Šroub se zápustnou hlavou M2,5x12	4
Šestihranná matice M10	1
Šestihranná matice M8	6
Šestihranná matice M6	8
Šestihranná matice M5	8
Šestihranná matice M4	2
Samojistící šestihranná matice M10	3
Samojistící šestihranná matice M8	1
Samojistící šestihranná matice M4	12
Závlačka pružinová jednoduchá 2x35 mm	3

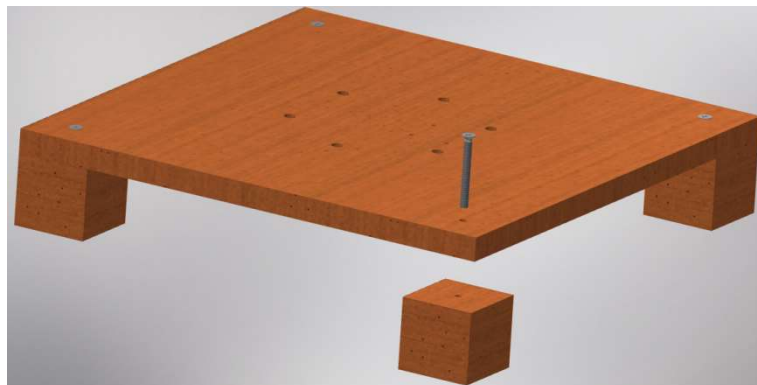
4.2 Montážní postup

Za předpokladu, že je vše nakoupeno, vytištěno a připraveno, můžeme přistoupit k samotnému sestavení.

Krok 1.:

Podle Obr. 8 vezmeme do rukou podložku. V našem případě se jedná o dřevěnou desku o rozměrech 40x40x2 cm. Deska může být z jakéhokoliv materiálu. Pouze je třeba dbát na dostatečnou pevnost materiálu, tj. aby průhyb byl co nejmenší, v ideálním případě žádný. Velikost desky může být jakákoliv. Platí zde pouze závislost, že čím je deska větší, tím bude lepší i výsledná stabilita ramene. Tloušťku jsme zvolili 2 cm, v případě jiné hodnoty je nutné zaměnit všechny spojovací materiál, jenž se vyskytuje v podložce.

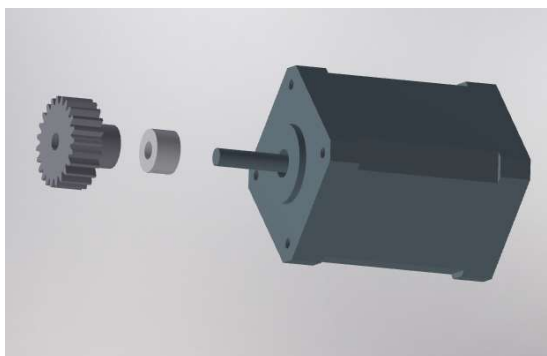
V desce máme vyvrtáno několik děr. Do děr umístěných v rozích desky vložíme vruty se zápusťnou hlavou o velikosti 6x60. Pomocí těchto vrutů spojíme podložku s dřevěnými kvádry s předvrtanou dírou uprostřed.



Obr. 8: Schéma spojení podložky s nohami podložky

Krok 2.:

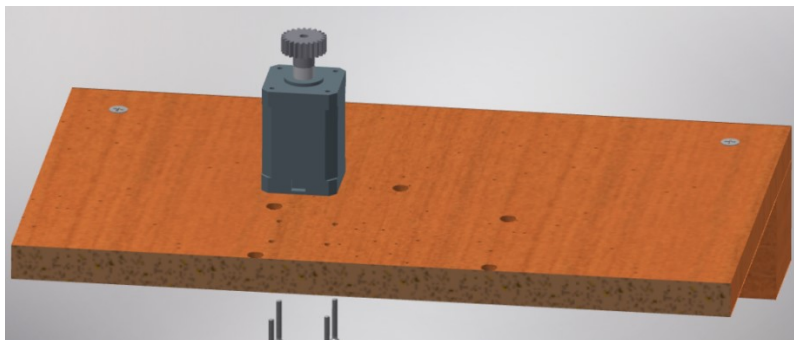
Podle Obr. 9 vezmeme krokový motorek SX17-0808 a nasadíme na jeho výstupní hřídelku distanční kroužek s označením K1. Následně nasadíme pastorek s přímým ozubením. Pastorek můžeme zajistit pomocí ustavovacího šroubku nebo lepidla, případně zahřátím výstupní hřídelky motorku a následným nasazením pastorku.



Obr. 9: Schéma krokového motorku s distančním kroužkem a pastorkem

Krok 3.:

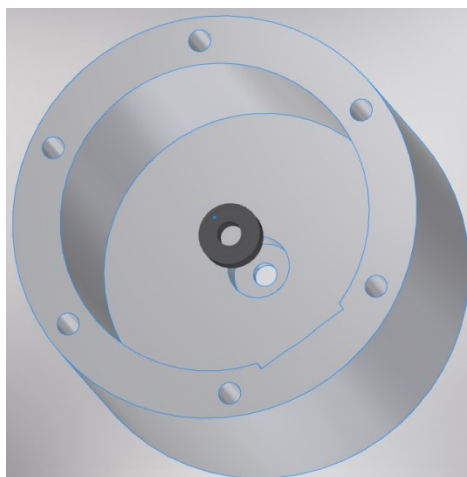
Podle Obr. 10 přišroubujeme sestavený krokový motorek z kroku 2 k podložce. Při tomto úkonu využijeme čtyři šrouby se zápusťnou hlavou M3x25.



Obr. 10: Schéma ustavení krokového motorku vzhledem k podložce

Krok 4.:

Podle Obr. 11 vložíme do podstavy ložisko 6000-2RSH.



Obr. 11: Schéma uspořádání ložiska v podstavě

Krok 5.:

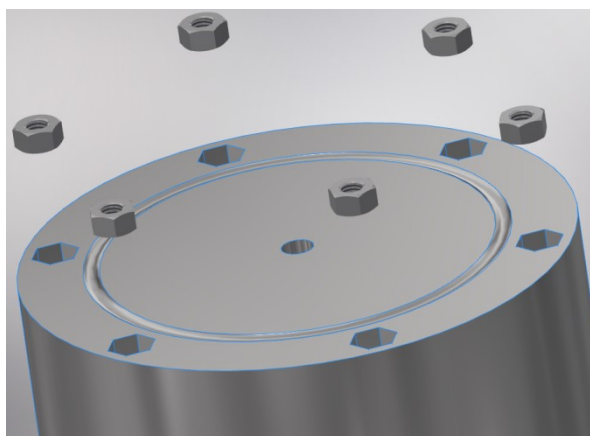
Podle Obr. 12 vezmeme hřídelku se závity na obou koncích. Nejprve nasadíme šestihrannou matici M10 na konec s delším závitem a zašroubujeme. Na stejný konec hřídelky zašroubujeme i samojistící šestihrannou matici M10. Dáme si pozor, aby po zašroubování hřídelka matici nepřesahovala. Nyní šestihrannou matici odšroubujeme dokud spolu se samojistící maticí nevytvoří pevný celek. Dále na hřídelku navlékneme distanční kroužek s označením K2 a poté nasuneme hnané kolo s přímými zuby. Ke spojení hnaného kola s hřídelí použijeme možnosti z kroku 2. Nakonec nasuneme distanční kroužek s označením K3.



Obr. 12: Schéma uspořádání položek na hřídelce

Krok 6.:

Podle Obr. 13 vložíme do podstavy šestihranné matice M8.



Obr. 13: Schéma vložení matic do podstavy

Krok 7.:

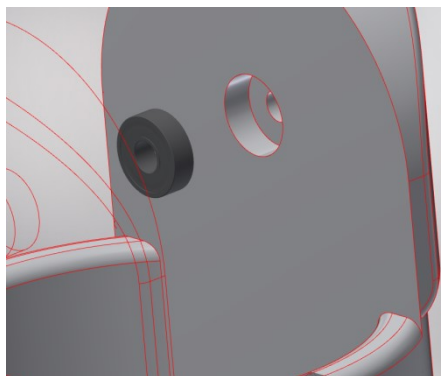
Podle Obr. 14 vezmeme seskládanou hřídelku z kroku 5 a zasuneme ji zevnitř podstavy do ložiska.



Obr. 14: Schéma spojení hřídelky a podstavy

Krok 8.:

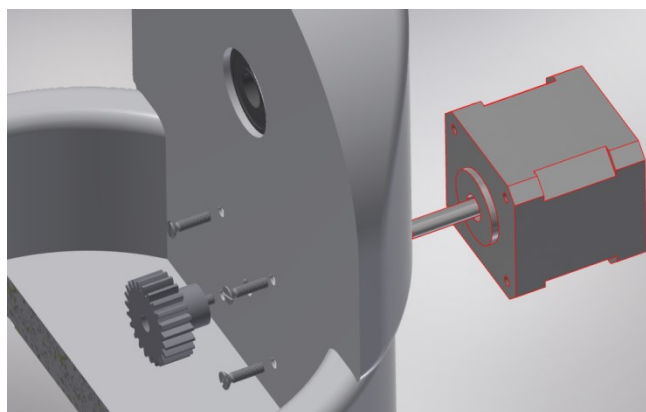
Podle Obr. 15 vložíme dvě ložiska 6000-2RSH do báze ramene.



Obr. 15: Schéma umístění ložisek v bázi ramene

Krok 9.:

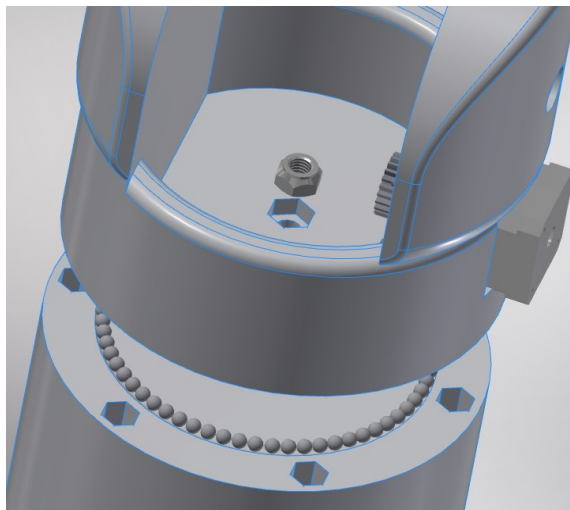
Podle Obr. 16 vezmeme krokový motorek SX17-1005VLQCEF a vložíme jej do čtvercového výřezu nacházejícího se v boku báze. Přišroubujeme jej pomocí čtyř šroubů se zápusťnou hlavou M3x12. Po upevnění motorku v bázi, nasadíme na výstupní hřídel motorku pastorek s přímým ozubením a připevníme jej dle kroku 2.



Obr. 16: Schéma uložení krokového motorku s pastorkem v bázi ramene

Krok 10.:

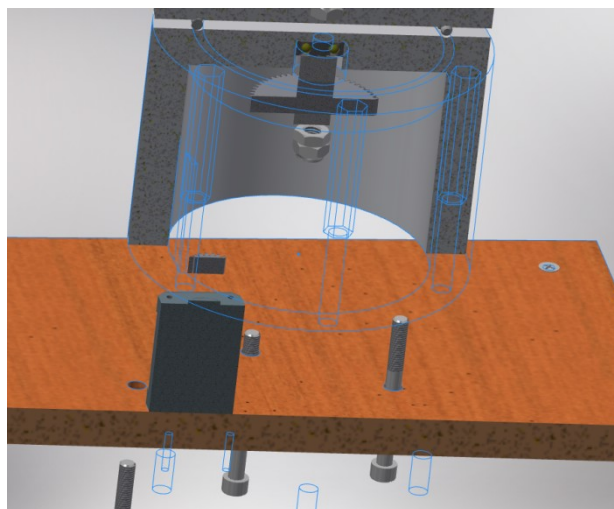
Podle Obr. 17 si přichystáme podstavu s hřídelkou, ocelové kuličky, bázi s motorkem a samozjistící šestihrannou maticí M10. Do drážky v podstavě vložíme ocelové kuličky a následně na ně položíme bázi s motorkem tak, aby hřídelka vystupovala ze středu báze. Nyní je potřeba opatrně zvednout podstavu i s bází a uchopit ozubené kolo v podstavě. Při zamezení rotačního pohybu kola jsme schopni zašroubovat samozjistící šestihrannou matici na výstupu hřídelky procházející středem báze. Matici je potřeba zašroubovat dokud nezapadne do výřezu.



Obr. 17: Schéma spojení báze s podstavou

Krok 11.:

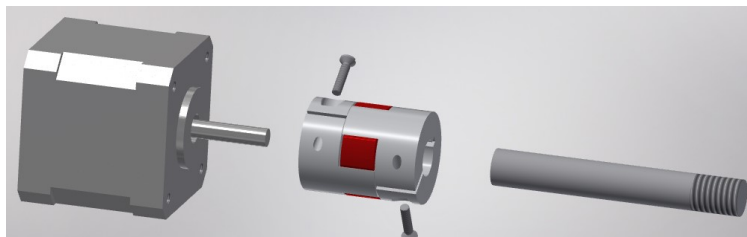
Podle Obr. 18 vezmeme šest šroubů se zápusťnou hlavou M8x80. Pomocí těchto šroubů spojíme podložku s podstavou ramene. V podstavě je označen výřez pro motorek a toho je třeba využít při umisťování. Při pokládání podstavy na podložku je potřeba si dát pozor na ozubená kola. V případě, že by kola nechtěla do sebe zapadnout, pomalu otočíme sází ramene dokud do sebe kola nezapadnou. Následně zespodu podložky vkládáme šrouby do děr a utahujeme je.



Obr. 18: Schéma připojení podstavy k podložce

Krok 12.:

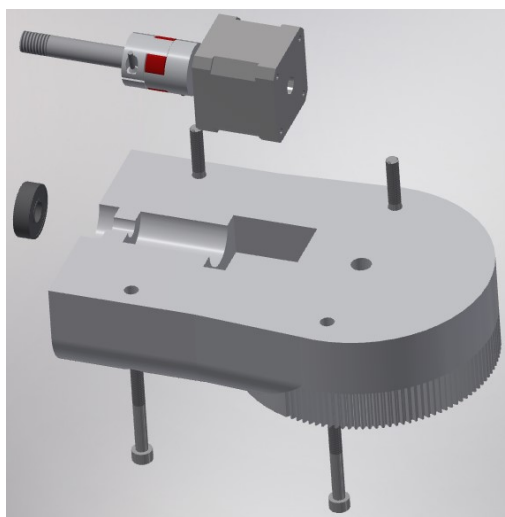
Podle Obr. 19 si připravíme krokový motorek SX17-1005VLQCEF, hřídelovou spojku LK20-C5-5/10, hřídelku o průměru 10 mm a dva šrouby se zápusťnou hlavou M2,5x12. Jako první vezmeme hřídelovou spojku, do které na doraz zasuneme konec hřídelky bez závitů a následně zajistíme pomocí šroubu se zápusťnou hlavou. Proces opakujeme, ale namísto hřídelky zasuneme do spojky výstupní hřídelku motorku.



Obr. 19: Schéma spojení pomocí hřídelové spojky

Krok 13.:

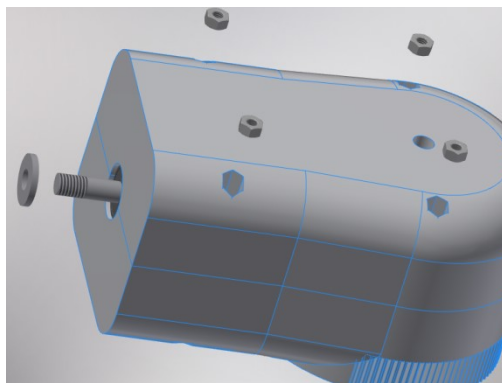
Podle Obr. 20 vezmeme první část prvního ramene a vsuneme do něj krokový motorek spojený s hřídelkou dle kroku 12. Na hřídel vystupující z dílu nasuneme ložisko s označením 6000-2RSH. Nakonec vložíme do děr z vnější strany dílu šrouby se zápusťnou hlavou M6x50.



Obr. 20: Schéma motorku v prvním rameni

Krok 14.:

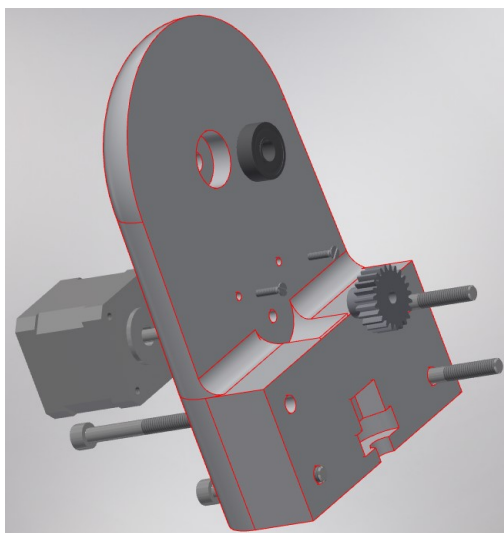
Podle Obr. 21 přiložíme druhou část prvního ramene, vložíme do ní šestihranné matice M6 a utáhneme šrouby. Dále pak na výstupní hřídelku nasuneme distanční kroužek K4.



Obr. 21: Schéma spojení obou částí prvního ramene

Krok 15.:

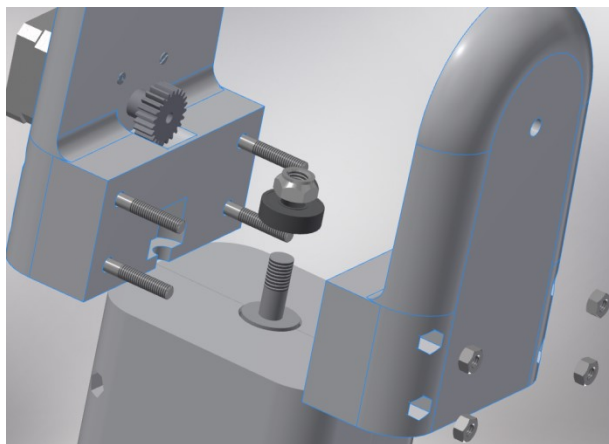
Podle Obr. 22 vložíme ložiska 608-2RSH do třetí i čtvrté části prvního ramene. Poté pokračujeme vložení krokového motorku SX17-1005VLQCEF do čtvercového výřezu ve venkovní straně třetí části prvního ramene a upevníme jej pomocí šroubů se zápusťnou hlavou M3x12. Následně na výstupní hřídelku motorku nasuneme pastorek s přímým ozubením a upevníme jej dle kroku 2. Nakonec z venkovní strany vložíme do děr šrouby s válcovou hlavou M6x50.



Obr. 22: Schéma součástí ve třetí části prvního ramene

Krok 16.:

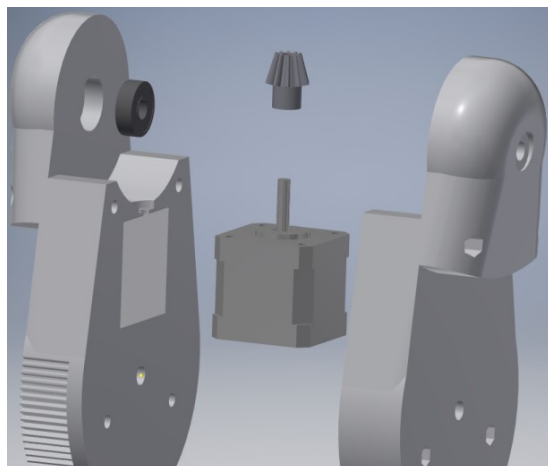
Podle Obr. 23 přiložíme k sestavě z kroku 14 třetí nebo čtvrtou část prvního ramene. Díky tomu určíme v jaké výšce se nachází ložisko a utažená samojistící šestihranná matice M10. Jakmile tuto výšku určíme, nasadíme ložisko a utáhneme matici. Nyní jen přiložíme třetí a čtvrtou část k sestavě a opatrně spojíme. V dílech jsou výřezy jak pro ložisko, tak pro matici a je třeba dát pozor, aby matice zapadla přesně do výřezu. Oba díly spojíme utažením šroubů po vložení šestihranných matic M6 z vnější strany do čtvrté části prvního ramene.



Obr. 23: Schéma připojení druhé části prvního ramene

Krok 17.:

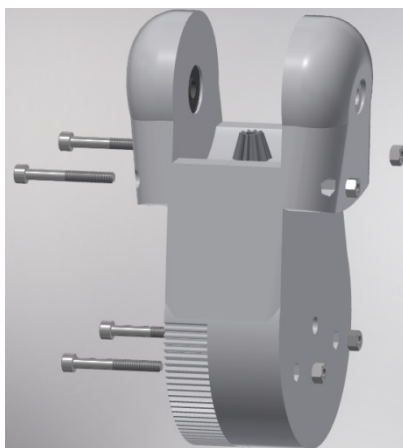
Podle Obr. 24 vložíme do obou částí druhého ramene ložisko 608-2RSH. Poté do jedné části vložíme krokový motorek SX17-1005VLQCEF. Dále nasuneme na výstupní hřídel motorku pastorek kuželového soukolí a upevníme jej podle kroku 2. Nakonec přiložíme i druhou část druhého ramene.



Obr. 24: Schéma složení druhého ramene

Krok 18.:

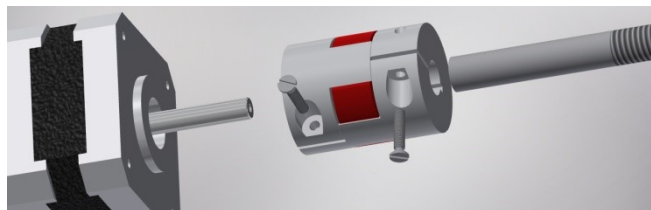
Podle Obr. 25 vložíme do děr v první části druhého ramene šrouby s válcovou hlavou M5x40. Do děr v druhé části vložíme šestihranné matice M5 a šrouby utáhneme.



Obr. 25: Schéma spojení druhého ramene

Krok 19.:

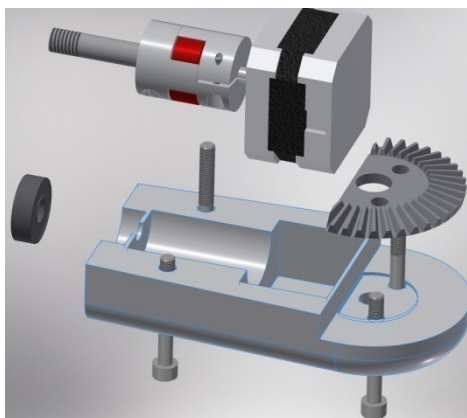
Podle Obr. 26 si připravíme hřídelovou spojku LK20-C5-5/8. Do ní následně vložíme na doraz hřídelku o průměru 8 mm a utáhneme šroubem se zápusťnou hlavou M2,5x12. Celý proces zopakujeme i při nasazování spojky na výstupní hřídel krokového motorku SX17-1003LQEF.



Obr. 26: Schéma spojení pomocí hřídelové spojky

Krok 20.:

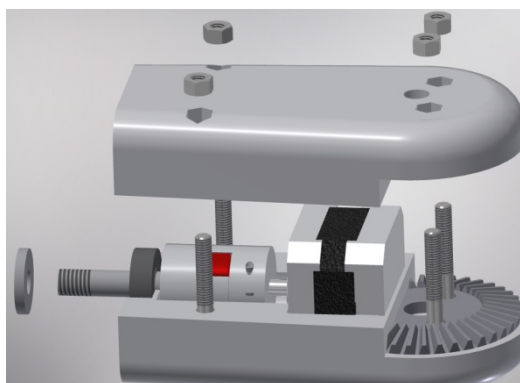
Podle Obr. 27 vložíme složený krokový motorek s hřídelkou z kroku 19 do první části třetího ramene. Z venkovní strany zasuneme do dílu šrouby s válcovou hlavou M5x40. Tyto šrouby nám pomohou k ustavení hnaného kola kuželového převodu, které je potřeba k dílu přilepit. Nakonec na hřídelku nasuneme ložisko 608-2RSH.



Obr. 27: Schéma uložení součástí v první části třetího ramene

Krok 21.:

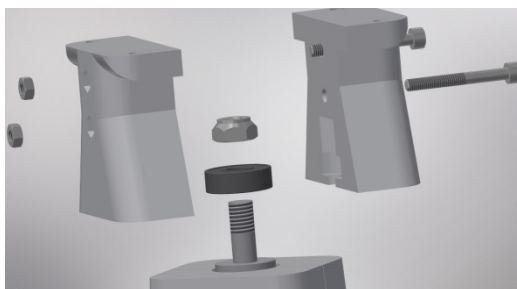
Podle Obr. 28 vezmeme druhou část třetího ramene a přiložíme ji na část sestavenou v kroku 20. Do děr v této části vložíme šestihranné matice M5 a utáhneme šrouby. Nakonec na hřídel nasadíme distanční kroužek K5.



Obr. 28: Schéma spojení částí třetího ramene

Krok 22.:

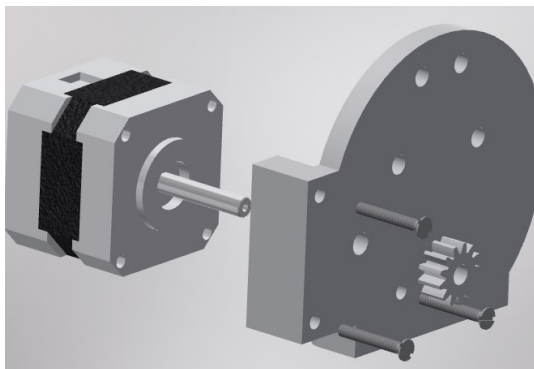
Podle Obr. 29 přiložíme třetí nebo čtvrtou část třetího ramene, abychom určili výšku ložiska a samojistící šestihranné matice. Po jejím určení můžeme nasadit ložisko s označením 608-2RSH a samojistící šestihrannou matici M8. Následně přiložíme oba díly k sobě a dáváme si pozor, aby ložisko i matice zapadly do výřezů v dílech. Nakonec oba díly spojíme pomocí dvou šroubů s válcovou hlavou M4x35 a šestihranných matic M4.



Obr. 29: Schéma připojení druhé části třetího ramene

Krok 23.:

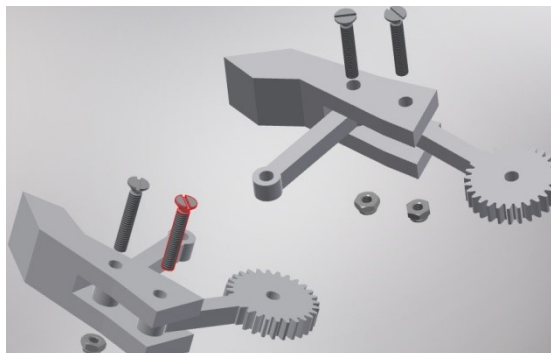
Podle Obr. 30 přiložíme krokový motorek SX16-0402N ke spodní části úchopu a zajistíme jeho polohu utažením tří šroubů se zápusťnou hlavou M3x20. Poté na výstupní hřídel motorku nasadíme pastorek s přímým ozubením a zajistíme jej podle kroku 2.



Obr. 30: Schéma připojení krokového motorku ke spodní části úchopu

Krok 24.:

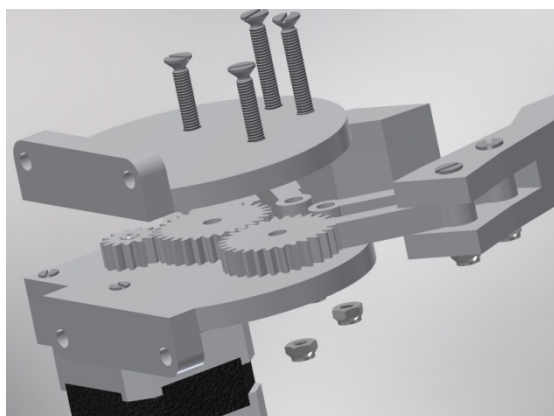
Podle Obr. 31 vezmeme čelisti a položíme je tak, aby měly svírací plochu proti sobě. Vložíme kliky a kliky s ozubením do výřezů v čelistech a do děr vložíme šroub se zápusťnou hlavou M4x25. Následně šrouby zajistíme pomocí samojistících šestihranných matic M4.



Obr. 31: Schéma připojení čelistí ke klikám

Krok 25.:

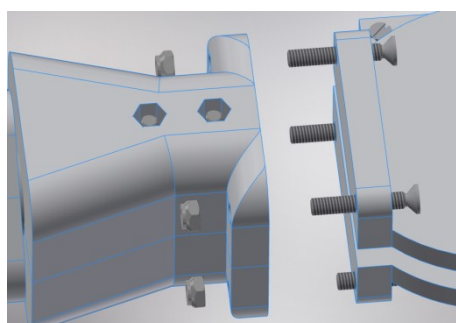
Podle Obr. 32 vložíme na spodní díl úchopu sestavené čelisti z kroku 24 a ustavíme je, aby se spolu dotýkaly uprostřed úchopu. Poté přiložíme vrchní díl úchopu a vložíme do děr šrouby se zápusťnou hlavou M4x25, které zajistíme pomocí samojistících šestihranných matic M4.



Obr. 32: Schéma uspořádání součástek na úchopu

Krok 26.:

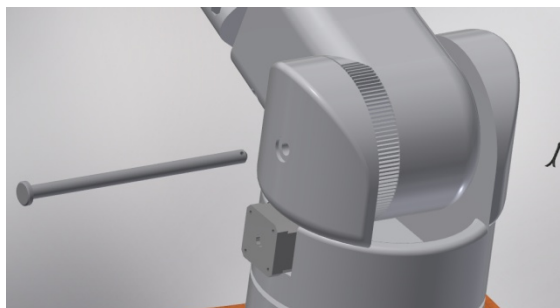
Podle Obr. 33 přiložíme sestavený úchop z kroku 25 ke konci třetího ramene z kroku 22. Do děr vložíme šrouby se zápusťnou hlavou M4x25 a zajistíme je pomocí samojistících šestihranných matic M4.



Obr. 33: Schéma připojení úchopu ke konci třetího ramene

Krok 27.:

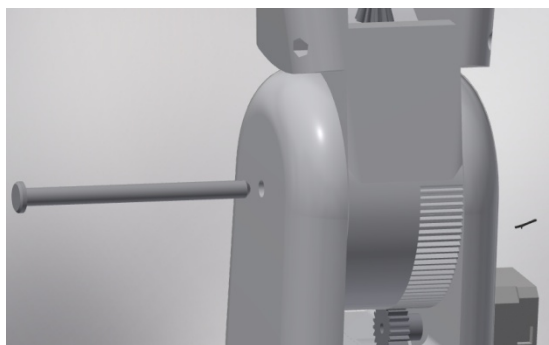
Podle Obr. 34 vezmeme složené první rameno z kroku 16 a přiložíme jej k bázi. Je potřeba aby bylo ozubení na rameni na stejné straně jako je pastorek v bázi. Poté vložíme čep 10x190x4 do báze ramene na straně motorku. Po protažení čepu zajistíme pomocí jednoduché pružinové závlačky 2x35 mm.



Obr. 34: Schéma připojení prvního ramene k bázi

Krok 28.:

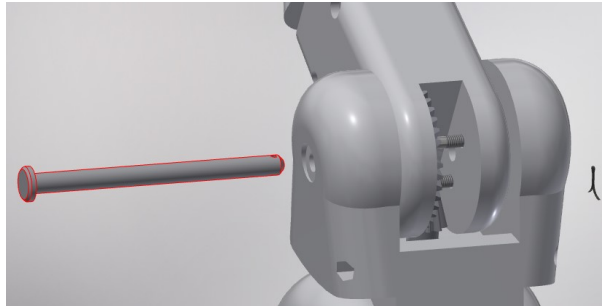
Podle Obr. 35 přiložíme složené druhé rameno z kroku 18 ke konci prvního ramene. Je třeba aby ozubená část druhého ramene byla na stejné straně jako pastorek na konci ramene prvního. Po ustavení vložíme do díry v prvním rameni čep 8x110x3, který po provlečení zajistíme pomocí jednoduché pružinové závlačky 2x35 mm.



Obr. 35: Schéma připojení druhého ramene k prvnímu rameni

Krok 29.:

Podle Obr. 36 přiložíme třetí rameno ke konci druhého ramene, opatrně zasuneme kuželová kola do sebe a do díry vložíme čep 8x110x3. Po provlečení čepu, jej zajistíme pomocí jednoduché pružinové závlačky 2x35 mm.



Obr. 36: Schéma připojení třetího ramene ke druhému rameni

5 ZHODNOCENÍ A CENOVÁ ÚVAHA

Můj návrh tvoří robotické rameno se šesti stupni volnosti. Celý návrh byl vytvořen pomocí Studentské verze softwaru Autodesk Inventor Professional 2016 [13]. Inspiraci jsem čerpal hlavně u modelu BCN3D Moveo, kde jsem přebíral řešení úchopu, uchycení ramen a přibližnou délku ramen. Také jsem se inspiroval u modelu společnosti Zortrax, kde jsem využil vzhled podstavy a vlastnoručně vytvořeného ložiska pomocí 6 mm ocelových kuliček.

Přenos momentu je řešen ozubeným převodem, kdy jediné rotace kolem osy z a rotace kloubu mezi druhým a třetím ramenem používají ozubená kola. Rotace ve zbylých kloubech je pomocí ozubeného pastorku a ozubené části ramenních dílů nebo pomocí ozubeného pastorku a ozubeného kola spojeného s klikou. Rotace ramene kolem osy z mezi bází a podstavou ramene je zajištěna pomocí ozubeného kola připevněného ke hřídelce na jejímž konci se nachází samojistící šestihranná matice, které leží ve výřezu báze a následně tak přenáší moment z motorku na bázi ramene. Tento princip je také využit u rotací ramen kolem vlastní osy, kdy přenos momentu z motorku na rameno je zajištěn pomocí samojistící šestihranné matice, která je sevřená ve výřezu dvou dílů ramene spojených k sobě.

Mezi koncovým efektem a koncem robotického ramene je adaptabilní rozhraní. K robotickému ramenu je tedy možné připojit jakýkoliv koncový efektor podle požadované aplikace. Samozřejmě je třeba konkrétní rozhraní daného koncového efektoru upravit, a nebo vytvořit součást, která bude sloužit jako spojka mezi přípojným rozhraním koncového efektoru a koncem robotického ramene.

Model je vytvořen bez vývodů vedení elektrické energie a bez zřetele na vůle. Z toho vyplývá, že v případě tisku, je třeba model upravit dle vůle extruderu, jenž bude využit nebo bude potřeba spousta dokončovací práce. Také by zde mohly být větrací otvory v okolí krokových motorků nebo by samotná konstrukce nemusela být tak robustní. Samotné krokové motorky by měly být řízeny pomocí platformy Arduino Mega 2560.

Při tvorbě samotného návrhu jsem využil již vytvořené modely motorků, ložisek a hřídelové spojky z těchto zdrojů [14], [15], [16], [17], [18].

5.1 Cenová úvaha

Položka	Cena
Podložka	90,-
Noha podložky	10,-
Krokový motorek SX17-0808	300,-
Krokový motorek SX17-1005VLQCEF	4 x 250,-
Krokový motorek SX17-1003LQEF	200,-
Krokový motorek SX16-0402N	180,-

Arduino Mega 2560	500,-
Ložisko 6000-2RSH	4 x 15,-
Ložisko 608-2RSH	6 x 15,-
Ocelová kulička 6 mm	90,-
Hřídelová spojka LK20-C5-5/10	335,-
Hřídelová spojka LK20-C5-5/8	335,-
Ozubené kolo s přímými zuby - pastorek P1023	3 x 30,-
Ozubené kolo s přímými zuby - hnané kolo P1064	30,-
Ozubená kola kuželová - pastorek, hnané kolo P151040-10	30,-
Bezešvá ocelová tyč o průměru 10 mm	10,-
Bezešvá ocelová tyč o průměru 8 mm	10,-
Čep 10x190x4	350,-
Čep 8x110x3	2 x 150,-
Spojovací materiál	200,-

Celková cena tohoto robotického ramene by se mohla pohybovat na hodnotě okolo 8100,-. Z toho připadá 3400,- za materiál použitý při tisku. Tisknutý materiál je ABS plast a bylo by ho potřeba 7,521 kg v případě tištění plného materiálu, tj 100% výplně. Samozřejmě, že při samotném tisku bychom využili maximálně výplň poloviční, tj. 50% výplň a tím by se nám cena za materiál i následně celková hmotnost ramene podstatně snížila. Cena jednoho kila tiskového materiálu se pohybuje kolem 450,-.

Dále 4680,- připadá na kupované díly. V této ceně jsou zahrnuty pouze komponenty vypsány výše. Nejsou zde zahrnuty nástroje a zařízení, které je potřeba vlastnit či využít k vytvoření některých součástí. Tato cena je také trochu nadsazená, hlavně díky využití převážně tuzemských internetových obchodů. Jednou z velice drahých položek jsou například čepy ke spojení ramen k sobě. Tyto čepy by mohly být vlastnoručně vysoustruženy za podstatně nižší cenu. Jako další drahá položka se jeví hřídelové spojky, kde by určitě byla možnost nalézt levnější modely. Nejdražší položkou jsou samozřejmě krokové motorky, zde je několik možností ke snížení jejich ceny. První z nich je využití individuální nabídky či množstevní slevy při koupi více počtu kusů jako v případě internetového obchodu Microcon.cz [19]. Druhou možností je koupit motorky přímo od výrobce nebo třeba z Číny, kdy je možné ušetřit až třetinu jejich ceny. V tomto případě je tedy výsledná cena ramene okolo 5000,- vcelku reálná.

Při oceňování komponent jsem vycházel z těchto zdrojů [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29].

6 ZÁVĚR

Požadovaným cílem této práce bylo vytvoření modelu robotického ramene v softwaru Autodesk Inventor. Navržené rameno by mělo být stavbou vhodné k vytištění na 3D tiskárně.

Ke splnění tohoto cíle bylo potřeba se nejprve seznámit s průmyslovými roboty, jejich principy a konstrukcí. Dále bylo potřeba se seznámit s dostupnými open source rameny na internetu a 3D tiskem.

Ve druhé kapitole je pojednáno o průmyslových robotech. Je zde popsána stručná definice, dále pak jejich kinematika, kinematické struktury, programování a pohony.

Ve třetí kapitole jsou popsány některá open source robotická ramena. Je zde vylíčen jejich vznik, stručně popsána konstrukce a některá konstrukční řešení.

Ve čtvrté kapitole se nachází řešení vlastního modelu. Nachází se zde seznam dílů a montážní postup k sestavení celého robotického ramene se všemi náležitostmi.

Pátá kapitola obsahuje shrnutí tvorby modelu a jeho některé možnosti nebo případné úpravy. Také je zde úvaha ohledně koncové ceny tohoto modelu.

Proběhlo seznámení s dostupnými open source robotickými rameny a vytvoření vlastního modelu podle zadaných kritérií. Z toho usuzuji, že cíle práce je možné považovat za splněné v plném rozsahu.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007 [cit. 2017-05-25]. ISBN 9788024815220. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf
- [3] DOHNAL, J. *Návrh a realizace řízení robotu TeachRobot*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D..
- [4] Thor: OpenSource 3D printable Robotic Arm. *Hackaday.io* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://hackaday.io/project/12989-thor>
- [5] Build a Cyclone CNC machine. *ELECTRONOBS: Let's be witty* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.electrionoobs.com/eng_cnc_cyclone.php
- [6] Moveo-portada.jpg. In: *BCN3D Technologies: Home* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.bcn3dtechnologies.com/wp-content/uploads/2016/07/Moveo-portada.jpg>
- [7] BCN3D MOVEO: A fully Open Source 3D printed robot arm. *BCN3D Technologies: Home* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.bcn3dtechnologies.com/en/bcn3d-moveo-the-future-of-learning/>
- [8] BCN3D Technologies develops open source 3D printed 'Moveo' robotic arm for schools. *3D printer and 3D printing news* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.3ders.org/articles/20160728-bcn3d-technologies-develops-open-source-3d-printed-moveo-robotic-arm-for-schools.html>
- [9] BCN3D/BCN3D-Moveo: Open Source 3D Printed Robotic Arm for educational purposes. *Github: The world's leading software development platform* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://github.com/BCN3D/BCN3D-Moveo>
- [10] Zortrax 3D Printed Robot Arm. *Imprint3D: Imprint3D Vast Additive Systems & Technologies* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.imprint3d.eu/zortrax-3d-printed-robot-arm/>
- [11] Zortrax Robotic Arm: Zortrax Library. *Zortrax: 3d printing solutions for professionals* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://library.zortrax.com/project/zortrax-robotic-arm/>
- [12] Zortrax Robotic Arm. *Instructables: How to make anything* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.instructables.com/id/Zortrax-Robotic-Arm/>
- [13] Inventor: Software pro strojírenské návrhy a 3D CAD. *Autodesk: Software pro 3D navrhování, projektování a zábavu* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/inventor/overview>
- [14] Nema 1719 stepper motor: Autodesk Inventor - 3D CAD model. *GrabCAD* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/nema-1719-stepper-motor-1>

- [15] Stepper Motor NEMA 17 like: Autodesk Inventor - 3D CAD model. *GrabCAD* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/stepper-motor-nema-17-like-1>
- [16] Kuličková ložiska, jednořadá: 6000-2RSH. *SKF CZ, a.s.* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=6000-2RSH>
- [17] Kuličková ložiska, jednořadá: 608-2RSH. *SKF CZ, a.s.* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=608-2RSH>
- [18] Prusa i3 Coupling D 5mm: Autodesk Inventor - 3D CAD model. *GrabCAD* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/prusa-i3-coupling-d-5mm-1>
- [19] *Microcon* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.microcon.cz/>
- [20] *Dřevo v Brně: Prodej dřeva, stavební řezivo, OSB desky, palubky Brno* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.drevovbrne.cz/>
- [21] Arduino MEGA2560: Vývojové desky. *PTshop* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.ptshop.cz/Arduino-MEGA2560-d1.htm>
- [22] Ložiska valivá: on-line nabídka - jednořadá. *ADOZ e-Shop* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://eshop.adoz.cz/k/LV0101>
- [23] Ocelové kuličky Jandao 6mm, 100ks. *Zbraně Armyshop* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://www.alfatactical.cz/jandao-ocelove-kulicky-jandao-6mm-100ks.html>
- [24] *CNCShop.cz* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/>
- [25] *T.E.A. TECHNIK s.r.o.: lineární vedení a pohony* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/>
- [26] *FERONA a.s. - E-shop: Vítejte* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://eshop.ferona.cz/>
- [27] *Spojovací materiál a kotevní technika MEKR'S s.r.o.* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.mekrs.cz/>
- [28] *Kotevní a upevňovací technika* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.hmozdinky-kotvy.cz/>
- [29] ABS filament. *3Dstruny.cz: 3D struny do 3D tiskáren* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://www.3dstruny.cz/ABS-filament-c36_0_1.htm

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

1	Pracovní prostory: a) typ TTT b) typ RTT c) typ RRT d) typ RRR	19
2	Aproximace obecného pohybu	22
3	Aproximace lineárního pohybu	22
4	Aproximace kruhového pohybu	22
5	Robotické rameno Thor	27
6	Robotické rameno BCN3D Moveo	28
7	Robotické rameno Zortrax	29
8	Schéma spojení podložky s nohami podložky	33
9	Schéma krokového motorku s distančním kroužkem a pastorkem	33
10	Schéma ustavení krokového motorku vzhledem k podložce	34
11	Schéma uspořádání ložiska v podstavě	34
12	Schéma uspořádání položek na hřídelce	35
13	Schéma vložení matic do podstavy	35
14	Schéma spojení hřídelky a podstavy	35
15	Schéma umístění ložisek v bázi ramene	36
16	Schéma uložení krokového motorku s pastorkem v bázi ramene	36
17	Schéma spojení báze s podstavou	37
18	Schéma připojení podstavy k podložce	37
19	Schéma spojení pomocí hřídelové spojky	38
20	Schéma motorku v prvním rameni	38
21	Schéma spojení obou částí prvního ramene	38
22	Schéma součástí ve třetí části prvního ramene	38
23	Schéma připojení druhé části prvního ramene	39
24	Schéma složení druhého ramene	40
25	Schéma spojení druhého ramene	40
26	Schéma spojení pomocí hřídelové spojky	41
27	Schéma uložení součástí v první části třetího ramene	41
28	Schéma spojení částí třetího ramene	41
29	Schéma připojení druhé části třetího ramene	42
30	Schéma připojení krokového motorku ke spodní části úchopu	42
31	Schéma připojení čelistí ke klikám	43
32	Schéma uspořádání součástek na úchopu	43
33	Schéma připojení úchopu ke konci třetího ramene	43
34	Schéma připojení prvního ramene k bázi	44
35	Schéma připojení druhého ramene k prvnímu rameni	44
36	Schéma připojení třetího ramene ke druhému rameni	45

9 SEZNAM PŘÍLOH

CD

10 A OBSAH CD

Čepy adresář obsahující modely čepů.

Čep_pro_první_kloub.ipt

Čep_pro_druhý_a_třetí_kloub.ipt

Design Accelerator adresář obsahující modely ozubených kol.

Čelní ozubená kola1.iam

Čelní ozubená kola2.iam

Čelní ozubená kola3.iam

Čelní ozubená kola5.iam

Čelní ozubená kola8.iam

Čelní ozubené kolo11.ipt

Čelní ozubené kolo12.ipt

Čelní ozubené kolo13.ipt

Čelní ozubené kolo15.ipt

Čelní ozubené kolo18.ipt

Čelní ozubené kolo21.ipt

Čelní ozubené kolo22.ipt

Kuželová ozubená kola1.iam

Kuželová ozubená kola3.iam

Kuželové ozubené kolo11.ipt

Kuželové ozubené kolo13.ipt

Kuželové ozubené kolo21.ipt

Kuželové ozubené kolo23.ipt

Díly adresář obsahující modely tištěných dílů.

Báze_robotu.ipt

Druhé_rameno-druhá_část.ipt

Druhé_rameno-první_část.ipt

Podstava.ipt

První_rameno-čtvrtá_část.ipt

První_rameno-druhá_část.ipt

První_rameno-první_část.ipt

První_rameno-třetí_část.ipt

Třetí_rameno-čtvrtá_část.ipt

Třetí_rameno-druhá_část.ipt

Třetí_rameno-první_část.ipt

Třetí_rameno-třetí_část.ipt

Distanční_kroužky adresář obsahující modely distančních kroužků.

Distanční_kroužek_K1.ipt

Distanční_kroužek_K2.ipt

Distanční_kroužek_K3.ipt

Distanční_kroužek_K4.ipt

Distanční_kroužek_K5.ipt

Hřídelky adresář obsahující modely hřídelek.

Hřídelka_8mm.ipt

Hřídelka_10mm.ipt

Hřídelka_v_podstavě_10mm.ipt

Hřídelové spojky adresář obsahující modely hřídelových spojek.

Coup.plast.ipt

Coup.plast_2.ipt

Coupling.ipt

Coupling_2.ipt

Coupling_3.ipt

Spojka_5_na_8.iam

Spojka_5_na_10.iam

Ložiska adresář obsahující modely ložisek.

608-2RSH.iam

608-2RSH_PART1.ipt

608-2RSH_PART2.ipt

608-2RSH_PART3.ipt

6000-2RSH.iam

6000-2RSH_PART1.ipt

6000-2RSH_PART2.ipt

6000-2RSH_PART3.ipt

Kulička_6mm.ipt

Motorky adresář obsahující modely motorků.

Nema_17_40mm.ipt krokový motorek SX17-1005VLQCEF

Nema_17_60mm.ipt krokový motorek SX17-0808

NEMA16.ipt krokový motorek SX16-0402N

NEMA17_30mm.ipt krokový motorek SX17-1003LQEF

Úchop adresář obsahující modely dílů úchopu.

Čelist.ipt

Klika.ipt

Klika_s_ozubením.ipt

Spodní_díl_úchopu.ipt

Vrchní_díl_úchopu.ipt

Základna adresář obsahující modely základny.

Noha_podložky.ipt

Podložka.ipt

Robotické_rameno.iam sestava obsahující celý model.

Návrh robotického ramene.pdf elektronická verze práce.